



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10210795 A**

(43) Date of publication of application: 07 . 08 . 98

(51) Int. Cl.

H02P 9/14  
H02J 3/18

(21) Application number: **09011681**

(22) Date of filing: 24 . 01 . 97

(71) Applicant: **CENTRAL RES INST OF  
ELECTRIC POWER IND**

(72) Inventor: **INOUE TOSHIO**  
**TANIGUCHI HARUTO**

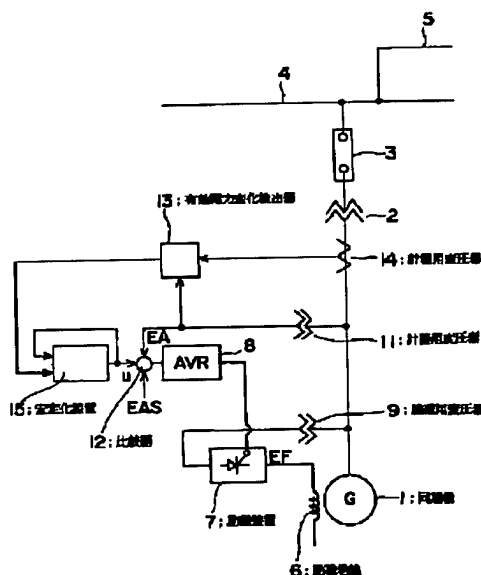
(54) STABILIZATION CONTROL SYSTEM FOR POWER SYSTEM

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress fluctuation of a power system over a wide operational conditions.

**SOLUTION:** Based on an effective fluctuation in the power of a synchronous machine, a stabilization unit 15 forms an auxiliary signal which is then delivered to an AVR 8 and an exciter 7 in order to control the output of the synchronous machine thus suppressing fluctuation of a power system. The stabilization unit 15 determines an estimated value of an auxiliary signal outputted one moment of time before using a current fluctuation of power, fluctuation of power and auxiliary signal one moment of time before and a plurality of weighting coefficients. The weighting coefficients are corrected to decrease the square of difference between the auxiliary signal one moment of time before and an achieved value thus determining a desired fluctuation of power one moment of time before. Finally, a current auxiliary signal is outputted using the desired value thus determined, a current fluctuation of power, a fluctuation of power one moment of time before, an auxiliary signal and weighting coefficients.





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 同期機の有効電力変化を基に安定化装置によって補助信号を形成し、この補助信号をAVR、励磁装置に与えて同期機の出力を制御することにより電力系統の動揺を抑制する電力系統の安定化制御システムにおいて、前記安定化装置は、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の重み係数とを用いて1時点前に出力した補助信号の推定値を求め、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように重み係数を修正する手段を備えたことを特徴とする電力系統の安定化制御システム。

【請求項2】 前記安定化装置は、現時点の有効電力変化及び補助信号を取込み、現時点の有効電力変化、1時点以前の有効電力変化と補助信号をサンプルホールドするサンプルホールド手段と、前記サンプルホールド手段からの複数の信号を取込み、それら複数の信号にそれぞれ重み係数をかけて出力する係数設定器と、前記係数設定器からの信号を基に、1時点前に出力した補助信号の推定値を求めるとともに、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように上記係数設定器の重み係数を修正する処理手段とを備えたことを特徴とする請求項1記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項3】 同期機の電力変化を基に安定化装置によって補助信号を形成し、この補助信号をAVR、励磁装置に与えて同期機の出力を制御することにより電力系統の動揺を抑制する電力系統の安定化制御システムにおいて、前記安定化装置は、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の重み係数とを用いて1時点前に出力した補助信号の推定値を求め、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように重み係数を修正し、かつ、現時点の有効電力変化を基に1時点先の有効電力変化の所望値を求めるとともに、その所望値と、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の重み係数とを用いて現時点の補助信号を出力する手段を備えたことを特徴とする電力系統の安定化制御システム。

【請求項4】 前記安定化装置は、現時点の有効電力変化を基に1時点先の有効電力変化の所望値を求める有効電力所望値決定手段と、現時点の有効電力変化及び補助信号を取込み、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号とをサンプルホールドするサンプルホールド手段と、前記サンプルホールド手段からの複数の信号を取込み、それら複数の信号にそれぞれ重み係数をかけて出力する係数設定器と、前記係数設定器からの信号を基に、1時点前に出力した補助信号の推定値を求めるとともに、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように上記係

数設定器の重み係数を修正し、かつ前記有効電力所望値決定手段からの所望値と、前記係数設定器からの各信号とを基に現時点の補助信号を出力する処理手段を備えたことを特徴とする請求項3記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項5】 前記有効電力所望値決定手段は、有効電力変化 $\Delta P$ を取込んで、加速エネルギー $E$ を数式1

$$\text{【数1】 } E = -\Delta P / s$$

$s$  ; ラプラスの演算子

で求め、かつ現時点のサンプリング値 $\Delta P_k$ を基に有効電力変化の所望値 $\Delta P_d$ を数式2

$$\text{【数2】 } \Delta P_d = G_d (2E / \Delta t - \Delta P_k)$$

$G_d$  ; 調整ゲイン

$\Delta t$  ; サンプリング時間

により算出するようにしたことを特徴とする請求項4記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項6】 前記サンプルホールド手段は、現時点の有効電力変化 $\Delta P_k$ 、1時点以前の有効電力変化信号 $\Delta P_{k-1}$ , ...,  $\Delta P_{k-n}$  ( $n$ は任意の数)をサンプルホールドするとともに、1時点前に出力した補助信号 $U_{k-1}$ ,  $U_{k-2}$ , ...,  $U_{k-m}$  ( $m$ は任意の数)をサンプルホールドするようにしたことを特徴とする請求項2または4記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項7】 前記各係数設定器は、重み係数 $W_1$ ,  $W_2$ , ...,  $W_i$  ( $i = n+m$ )を備え、かつ、前記重み係数 $W_1$ ,  $W_2$ , ...,  $W_i$ が修正可能になっていて、かつサンプルホールド手段からの信号に前記重み係数をかけて出力できるようにしたことを特徴とする請求項2または4記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項8】 前記処理手段は、前記係数設定器からの信号 $W_1 \Delta P_k$ ,  $W_2 \Delta P_{k-1}$ ,  $W_3 \Delta P_{k-2}$ , ...,  $W_n \Delta P_{k-n+1}$ ,  $W_{n+1} \Delta P_{k-n}$ ,  $W_{n+2} U_{k-2}$ , ...,  $W_i U_{k-m}$  ( $m, n$ は任意の数、 $i = n+m$ )を基に1時点前に出力した補助信号の推定値 $V_{k-1}$ を数式3

$$\text{【数3】 } V_{k-1} = W_1 \Delta P_k + W_2 \Delta P_{k-1} + W_3 \Delta P_{k-2} + \dots + W_n \Delta P_{k-n+1} + W_{n+1} \Delta P_{k-n} + W_{n+2} U_{k-2} + \dots + W_i U_{k-m}$$

で算出し、1時点前に出力した補助信号の実績値 $U_{k-1}$ と前記推定値 $V_{k-1}$ の差 $\delta$ の二乗値 $J$ が減少するように最急勾配法により上記係数設定器の重み係数を修正するようにしたことを特徴とする請求項2または4記載の電力系統の安定化制御システム。

【請求項9】 前記処理手段は、有効電力所望値決定手段からの電力変化の所望値 $\Delta P_d$ と、前記係数設定器からの信号 $W_2 \Delta P_k$ ,  $W_3 \Delta P_{k-1}$ , ...,  $W_n \Delta P_{k-n+2}$ ,  $W_{n+1} \Delta P_{k-n+1}$ ,  $W_{n+2} U_{k-1}$ , ...,  $W_i U_{k-m+1}$ とを取込み、これらの値を基に、数式4

$$\text{【数4】 } U_k = W_1 \Delta P_d + W_2 \Delta P_k + W_3 \Delta P_{k-1} + \dots + W_n \Delta P_{k-n+2} + W_{n+1} \Delta P_{k-n+1} + W_{n+2} U_{k-1} + \dots + W_i U_{k-m+1}$$

ただし、 $n$ 、 $m$ は任意の数であり、 $i = n + m$ を計算することより、現時点の補助信号 $U_k$ を求めて出力するようにしたことを特徴とする請求項4記載の電力系統の安定化制御システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電力系統の安定化制御システムに関し、さらに詳しくは同期機の励磁制御により電力系統の安定化を図る制御システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に、同期機の励磁制御をすることにより電力系統の安定を図るシステムとして、従来、電力系統の安定化制御システムが知られている。

【0003】この電力系統の安定化制御システムは、例えば同期機の有効電力偏差( $\Delta P$ )を基に安定化装置によって補助信号を形成し、この補助信号をAVR、励磁装置に与えて同期機の出力を制御し、これによって電力系統の動揺を抑制しようとするものである。

【0004】図8に、従来の電力系統の安定化制御システムが適用された同期機を示す。この図において、符号101は同期機であり、この同期機101の出力端子は、主変圧器102、同期機遮断器103、発電所母線104、送電線105を介して電力系統に接続されている。

【0005】また、同期機101の励磁巻線106には励磁装置107から励磁電圧 $E_F$ が供給されており、同期機101の通常運転時には、AVR108によって同期機101の出力端子電圧が一定になるように運転が行われている。この励磁巻線106に供給される励磁電圧 $E_F$ は、励磁用変圧器109からの交流電圧を励磁装置107で整流し、かつAVR108からの励磁電圧制御信号により同期機101の出力端子電圧が一定になるように調整されてから励磁巻線106に供給されるようになっている。

【0006】同期機101の出力電圧 $E_A$ は、計器用変圧器111により検出されて比較器112に印加されるようになっており、この比較器112において端子電圧設定値 $E_{AS}$ と比較されるようになっている。この比較器112の出力端子は、AVR108の入力端子に接続されている。

【0007】計器用変圧器111の出力端子は有効電力検出器113の電圧入力端子に接続されている。同期機出力電流を検出する計器用変流器114の出力端子は、有効電力検出器113の電流入力端子に接続されている。有効電力検出器113は、前記変圧器111からの検出電圧と前記変流器114からの検出電流とから同期機有効電力変化 $\Delta P$ を検出して当該有効電力変化 $\Delta P$ を出力できるようになっている。

【0008】有効電力検出器113の出力端子は、安定

化装置115の入力端子に接続されている。この安定化装置115は、同期機有効電力変化 $\Delta P$ を基に電力系統の動揺を抑制するための補助信号 $U$ を形成し、この補助信号 $U$ を比較器112に印加するようになっている。

【0009】図9に、従来の電力系統の安定化制御システムに使用される安定化装置を示す。この図において、安定化装置115は、位相補償手段1151と、増幅手段1152と、出力リミッタ手段1153とから構成されている。

10 【0010】位相補償手段1151は、同期機有効電力変化 $\Delta P$ を取込み、これらの位相を数式5により補償してから増幅手段1152に供給するようになっている。

【0011】

【数5】

$$\frac{1 + T_1 s}{1 + T_2 s} \quad \frac{1 + T_3 s}{1 + T_4 s}$$

ここに、 $s$ はラプラス演算子、 $T_1 \sim T_4$ は位相補償のための進み遅れ回路のの時定数である。分母の数字は遅れ時定数、分子の数字は進み時定数であり、所望の位相補償性能が得られるようにこれらの数値は決定される。

20 【0012】増幅手段1152は、位相補償手段1151からの出力信号に対してゲイン $K_{pss}$ だけ増幅してから出力リミッタ1153に供給するようになっている。

【0013】出力リミッタ1153は、 $+V_{pss}$ 以上の出力信号、 $-V_{pss}$ 以下の出力信号が発生しないように制限することにより、補助信号 $U$ を形成し、加算器112に供給できるようになっている。

30 【0014】上述したような構成となっているため、電力系統が動揺すると、安定化装置115の位相補償手段1151、増幅手段1152、出力リミッタ1153が動作して、同期機有効電力変化 $\Delta P$ を基に補助信号 $U$ を形成する。この補助信号 $U$ は比較器112に供給される。比較器112の出力偏差は、AVR108により励磁電圧制御信号にされて励磁装置107に与えられる。励磁装置107は、AVR108からの励磁電圧制御信号を基に電力系統の動揺を抑制するようにな励磁電圧 $E_F$ を形成し、この電圧 $E_F$ を励磁巻線106に与える。これにより、同期機101は、電力系統の動揺を抑えるような交流電力を出力し、電力系統の動揺を抑制することができる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】ところで、現在、上記電力系統の安定化制御システムで使用している安定化装置にあつては、位相補償手段における時定数や、増幅手段のゲイン等の制御パラメータは固定定数であり、その設定にあたっては、特定の運用状態（潮流断面、系統構成など）を想定している。

40 【0016】しかしながら、近年の電力系統は電力会社

間の広域連系強化などによって、大規模、複雑化しており、電力系統の動揺もこれまでより複雑な現象となっている。したがって、特定の運用状態を想定した従来の電力系統の安定化制御システムでは、電力系統の動揺を十分に抑えることができないという欠点があった。

【0017】そこで、本発明の目的は、特定の運用状態を想定するのみではなく、さまざまな幅広い運用状態でも電力系統の動揺を抑えることができる電力系統の安定化制御システムを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために、請求項1記載の発明は、同期機の有効電力変化を基に安定化装置によって補助信号を形成し、この補助信号をAVR、励磁装置に与えて同期機の出力を制御することにより電力系統の動揺を抑制する電力系統の安定化制御システムにおいて、安定化装置が、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の重み係数とを用いて1時点前に出力した補助信号の推定値を求め、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように重み係数を修正する手段を備えるようにしている。

【0019】したがって、請求項1記載の発明では、電力系統の動揺を抑制するために必要な計算に使用する重み係数を、電力系統の動揺を抑えるのに最適な値に修正できる。

【0020】また、請求項2記載の発明では、前記安定化装置は、現時点の有効電力変化及び補助信号を取込み、現時点の有効電力変化、1時点以前の有効電力変化と補助信号をサンプルホールドするサンプルホールド手段と、前記サンプルホールド手段からの複数の信号を取込み、それら複数の信号にそれぞれ重み係数をかけて出力する係数設定器と、前記係数設定器からの信号を基に、1時点前に出力した補助信号の推定値を求めるとともに、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように上記係数設定器の重み係数を修正する処理手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0021】更に、目的を達成するために、請求項3記載の発明は、同期機の有効電力変化を基に安定化装置によって補助信号を形成し、この補助信号をAVR、励磁装置に与えて同期機の出力を制御することにより電力系統の動揺を抑制する電力系統の安定化制御システムにおいて、安定化装置が、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の重み係数とを用いて1時点前に出力した補助信号の推定値を求め、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように重み係数を修正し、かつ、現時点の有効電力変化を基に1時点先の電力変化の所望値を求めるとともに、その所望値と、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号と、複数の

の重み係数とを用いて現時点の補助信号を出力する手段を備えるようにしている。

【0022】したがって、請求項3記載の発明では、電力系統の動揺を抑制するために必要な計算に使用する重み係数を、電力系統の動揺を抑えるのに最適な値に修正でき、しかも有効電力の所望値を得て、これを基に補助信号を得るようにしたので、パラメータをある特定の故障状況に設定している従来の電力系統の安定化制御システムでは対応できないような電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても系統動揺を抑制できる。

10

【0023】請求項4記載の発明では、前記安定化装置は、現時点の電力変化を基に1時点先の有効電力変化の所望値を求める有効電力所望値決定手段と、現時点の有効電力変化及び補助信号を取込み、現時点の有効電力変化と、1時点以前の有効電力変化及び補助信号とをサンプルホールドするサンプルホールド手段と、前記サンプルホールド手段からの複数の信号を取込み、それら複数の信号にそれぞれ重み係数をかけて出力する係数設定器と、前記係数設定器からの信号を基に、1時点前に出力した補助信号の推定値を求めるとともに、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように上記係数設定器の重み係数を修正し、かつ前記有効電力所望値決定手段からの所望値と、前記係数設定器からの各信号とを基に現時点の補助信号を出力する処理手段とを備えたことを特徴とするものである。

20

【0024】請求項5記載の発明では、前記有効電力所望値決定手段は、電力変化 $\Delta P$ を取込んで、加速エネルギー $E$ を数式6

【0025】

30 【数6】  $E = -\Delta P / s$

$s$  ; ラプラスの演算子

で求め、かつ現時点のサンプリング値 $\Delta P_k$ を基に有効電力変化の所望値 $\Delta P_d$ を数式7

【0026】

【数7】  $\Delta P_d = G_d (2E / \Delta t - \Delta P_k)$

$G_d$  ; 調整ゲイン

$\Delta t$  ; サンプリング時間

により算出するようにしたことを特徴とするものである。

40

【0027】請求項6記載の発明では、前記サンプルホールド手段は、現時点の有効電力変化 $\Delta P_k$ 、1時点以前の有効電力変化信号 $\Delta P_{k-1}$ 、 $\dots$ 、 $\Delta P_{k-n}$  ( $n$ は任意の数)をサンプルホールドするとともに、1時点前に出力した補助信号 $U_{k-1}$ 、 $U_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $U_{k-m}$  ( $m$ は任意の数)をサンプルホールドするようにしたことを特徴とするものである。

50

【0028】請求項7記載の発明では、前記各係数設定器は、重み係数 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_i$  ( $i = n+m$ )を備え、かつ、前記重み係数 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_i$ が修正可能になっていて、かつサンプルホールド手段からの信

号に前記重み係数をかけて出力できるようにしたことを特徴とするものである。

【0029】請求項8記載の発明では、前記処理手段は、前記係数設定器からの信号 $W1 \Delta P_k$ 、 $W2 \Delta P_{k-1}$ 、 $W3 \Delta P_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $W_n \Delta P_{k-n+1}$ 、 $W_{n+1} \Delta P_{k-n}$ 、 $W_{n+2} U_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $W_i U_{k-m}$  ( $m$ 、 $n$ は任意の数、 $i = n+m$ ) を基に1時点前に出力した補助信号の推定値 $V_{k-1}$ を数式8

【0030】

$$\text{【数8】 } V_{k-1} = W1 \Delta P_k + W2 \Delta P_{k-1} + W3 \Delta P_{k-2} + \dots + W_n \Delta P_{k-n+1} + W_{n+1} \Delta P_{k-n} + W_{n+2} U_{k-2} + \dots + W_i U_{k-m}$$

で算出し、1時点前に出力した補助信号の実績値 $U_{k-1}$ と推定値 $V_{k-1}$ の差 $\delta$ の二乗値 $J$ が減少するように最急勾配法により上記係数設定器の重み係数を修正するようにしたことを特徴とするものである。

【0031】請求項9記載の発明では、前記処理手段は、有効電力所望値決定手段からの電力変化の所望値 $\Delta P_d$ と、前記係数設定器からの信号 $W2 \Delta P_k$ 、 $W3 \Delta P_{k-1}$ 、 $\dots$ 、 $W_n \Delta P_{k-n+2}$ 、 $W_{n+1} \Delta P_{k-n+1}$ 、 $W_{n+2} U_{k-1}$ 、 $\dots$ 、 $W_i U_{k-m+1}$  とを取込み、これらの値を基に数式9

【0032】

$$\text{【数9】 } U_k = W1 \Delta P_d + W2 \Delta P_k + W3 \Delta P_{k-1} + \dots + W_n \Delta P_{k-n+2} + W_{n+1} \Delta P_{k-n+1} + W_{n+2} U_{k-1} + \dots + W_i U_{k-m+1}$$

ただし、 $n$ 、 $m$ は任意の数であり、 $i = n+m$ を計算することより、現時点の補助信号 $U_k$ を求めて出力するようにしたことを特徴とするものである。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、本発明の構成を図面に示す実施の一形態に基づいて詳細に説明する。

【0034】図1に、本発明に係る電力システムの安定化制御システムの実施の形態を示す。この図において、同期機1の出力端子は、主変圧器2、同期機遮断器3、発電所母線4及び送電線5を介して電力系統に接続されている。

【0035】また、同期機1の励磁巻線6には励磁装置7から励磁電圧 $E_F$ が供給されており、同期機1の通常運転時には、AVR8によって同期機1の出力端子電圧が一定になるように運転が行われている。この励磁巻線6に供給される励磁電圧 $E_F$ は、励磁用変圧器9からの交流電圧を励磁装置7で整流し、かつAVR8からの励磁電圧制御信号により同期機1の出力端子電圧が一定になるように調整されてから励磁巻線6に供給されるようになっている。

【0036】同期機1の出力電圧 $E_A$ は、計器用変圧器11により検出されて比較器12に印加されるようになっている。この比較器12は、出力電圧 $E_A$ と端子電圧設定値 $E_{AS}$ と比較してその偏差を出力できるようにな

っている。この比較器12の出力端子は、AVR8の入力端子に接続されている。

【0037】計器用変圧器11の出力端子は有効電力検出器13の電圧入力端子にも接続されている。また、同期機出力電流を検出する計器用変流器14の出力端子は、有効電力検出器13の電流入力端子に接続されている。有効電力検出器13は、変圧器11からの検出電圧と変流器14からの検出電流とから同期機有効電力変化 $\Delta P$ を検出し、当該有効電力変化 $\Delta P$ を出力できるようになっている。この有効電力検出器13の出力端子は、安定化装置15の第1の入力端子に接続されている。

【0038】この安定化装置15は、自己が出力した補助信号 $U$ を第2の入力端子から取込み、この補助信号 $U$ と第1の入力端子から取り込んだ同期機有効電力変化 $\Delta P$ とを基に、励磁系によって発生する電気トルクが同期機1の回転数変化と同相成分のトルク（制動トルク）を含むように補助信号 $U$ を調整し、この補助信号 $U$ を比較器12に供給するようになっている。すなわち、安定化装置15は、励磁系によって発生する電気トルクと出力信号である補助信号 $U$ との間の動的な関係を時系列モデルで表現することにより、動揺状況に適応した制動トルクが発生するように補助信号 $U$ を算出している。さらに詳しくは、安定化装置15は次の点を考慮して補助信号 $U$ を形成している。

【0039】まず、補助信号 $U$ と同期機有効電力変化 $\Delta P$ の動的な関係を、例えば6次の離散型時系列モデル（サンプリングタイムは、例えば0.1〔秒〕）で表現している。すなわち、この6次の離散型時系列モデルは、現時点（時点 $k$ ）での有効電力の変化と補助信号 $U$ とによって数式10の如く表現できる。

【0040】

$$\text{【数10】 } \Delta P_k = -a_1 \Delta P_{k-1} - a_2 \Delta P_{k-2} - a_3 \Delta P_{k-3} - a_4 \Delta P_{k-4} - a_5 \Delta P_{k-5} - a_6 \Delta P_{k-6} + b_1 U_{k-1} + b_2 U_{k-2} + b_3 U_{k-3} + b_4 U_{k-4} + b_5 U_{k-5} + b_6 U_{k-6}$$

ここで、 $\Delta P_{k-i}$  :  $i$  時点前の発電機有効電力変化 (p.u.)

$U_{k-i}$  :  $i$  時点前のPSS出力 (p.u.)

ここで、数式10の $b_1 U_{k-1}$ を $U_{k-1}$ で表すと、下記の数式3のようになる。

【0041】

$$\text{【数11】 } \Delta P_k = -a_1 \Delta P_{k-1} - a_2 \Delta P_{k-2} - a_3 \Delta P_{k-3} - a_4 \Delta P_{k-4} - a_5 \Delta P_{k-5} - a_6 \Delta P_{k-6} + U_{k-1} + b_2 / b_1 U_{k-2} + b_3 / b_1 U_{k-3} + b_4 / b_1 U_{k-4} + b_5 / b_1 U_{k-5} + b_6 / b_1 U_{k-6}$$

そこで、1時点先での有効電力変化 $\Delta P$ の所望値 $\Delta P_d$ とすれば、補助信号 $U_k$ は、数式10から数式12で与えられることになる。

【0042】

$$\text{【数12】 } U_k = W1 \Delta P_d + W2 \Delta P_k + W3 \Delta P_{k-1} + W4 \Delta P_{k-2} + W5 \Delta P_{k-3} + W6 \Delta P_{k-4} + W7 \Delta P_{k-5} + W8$$

$U_{k-1} + W_9 U_{k-2} + W_{10} U_{k-3} + W_{11} U_{k-4} + W_{12} U_{k-5}$   
ここで、

$W_1 = 1, W_2 = a_1, W_3 = a_2, W_4 = a_3, W_5 = a_4,$   
 $W_6 = a_5, W_7 = a_6, W_8 = -b_2/b_1, W_9 = -b_3/b_1,$   
 $W_{10} = -b_4/b_1, W_{11} = -b_5/b_1, W_{12} = -b_6/b_1$

したがって、有効電力変化  $\Delta P$  の所望値  $\Delta P_d$  を求め、  
かつ重み係数（パラメータ  $W_i$ 、ただし、 $i = 1, 2,$   
 $\dots, 12$ ）を系統に動揺を抑えるために最適なものに修  
正して、数式 12 によって補助信号  $U_k$  を得ることがで  
きる。このような形で安定化装置 15 は、補助信号  $U_k$   
を求めて比較器 12 に供給している。

【0043】図 2 に、本発明に係る電力系統の安定化制  
御システムの実施の形態で使用する有効電力検出器、安  
定化装置の構成例を示す。

【0044】まず、有効電力検出器 13 は、電力算出手  
段 131 と、処理手段 132、133 とからなる。前記  
電力算出手段 131 は、計器用変圧器 11 からの検出電  
圧、計器用変流器 14 からの検出電流を基に電力信号  $P$   
を算出する。この電力信号  $P$  は、処理手段 132 に入力  
されるようになっている。前記処理手段 132 は、数式  
13 を用いて電力信号  $P$  を処理するようになっている。

【0045】

【数 13】

$$\frac{1}{1 + T_p s}$$

ここで、 $s$  はラプラスの演算子、 $T_p$  は有効電力の測定  
ノイズ除去用のフィルターの時定数である。

【0046】処理手段 132 で処理された信号は、処理  
手段 133 に供給されるようになっている。処理手段 1  
33 は、数式 14 を用いて処理手段 132 からの出力信  
号を処理し、同期機有効電力変化  $\Delta P$  を得るようにな  
っている。

【0047】

【数 14】

$$\frac{T_n s}{1 + T_n s}$$

ここで、 $s$  はラプラスの演算子、 $T_n$  は有効電力測定値  
から変化分を検出するためのリセット回路の時定数であ  
る。

【0048】この処理手段 133 の出力端子は、安定化  
装置 15 の第 1 の入力端子に接続されており、同期機有  
効電力変化  $\Delta P$  を安定化装置 15 に供給できるようにな  
っている。

【0049】次に、安定化装置 15 について説明する。  
この安定化装置 15 は、例えば演算処理装置、記憶装  
置、入出力装置等からなるコンピュータ装置により構成 \*

$$\partial J / \partial W_i = (\partial J / \partial V_{k-1}) (\partial V_{k-1} / \partial W_i)$$

\* すればよく、記憶装置に記憶された処理プログラムに従  
って演算処理装置が処理を実行することにより、有効電  
力所望値決定手段 150a、サンプルホールド手段 15  
0b、係数設定器 151、152、 $\dots$ 、162、処理手  
段 163、及びカリミッタ 164 が実現される。

【0050】有効電力所望値決定手段 150a は、同期  
機有効電力変化  $\Delta P$  及び現時点の信号  $\Delta P_k$  を基に、前  
述の数式 12 を用いて、1 時点先の所望の電力変化  $\Delta P$   
 $d$  を決定するようになっている。

10 【0051】

【数 15】 $\Delta P_d = G_d (2E / \Delta t - \Delta P_k)$  (G  
 $d$ : 調整ゲイン)

サンプルホールド手段 150b は、同期機有効電力変化  
 $\Delta P$  及び補助信号  $U$  を取込み、サンプリングタイムを例  
えば 0.1 [秒] でサンプルホールドし、同期機有効電  
力変化  $\Delta P$  については現時点以前の信号  $\Delta P_k$ 、 $\Delta P_{k-1}$   
 $\dots$ 、 $\Delta P_{k-5}$  をサンプルホールドし、補助信号  $U$  に  
ついては 1 時点以前の信号  $U_{k-1}$ 、 $U_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $U_{k-5}$   
をサンプルホールドし、これら信号  $\Delta P_k$ 、 $\Delta P_{k-1}$ 、  
20  $\dots$ 、 $\Delta P_{k-5}$ 、 $U_{k-1}$ 、 $U_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $U_{k-5}$  を係数設定  
器 152、153、 $\dots$ 、162 に供給できるようになっ  
ている。

【0052】係数設定器 151、152、 $\dots$ 、162  
は、重み係数であるパラメータ  $W_1$ 、 $W_1$ 、 $\dots$ 、 $W_{12}$  を  
有しており、有効電力所望値決定手段 150a からの 1  
時点先の所望の有効電力変化  $\Delta P$  である  $\Delta P_d$  と、信号  
 $\Delta P_k$ 、 $\Delta P_{k-1}$ 、 $\dots$ 、 $\Delta P_{k-5}$  と、信号  $U_{k-1}$ 、 $U_{k-2}$   
 $\dots$ 、 $U_{k-5}$  とにそれぞれパラメータ  $W_1$ 、 $W_1$ 、  
 $\dots$ 、 $W_{12}$  をかける処理を実行するようになっている。な  
お、係数設定器 151、152、 $\dots$ 、162 のパラメ  
タ  $W_1$ 、 $W_1$ 、 $\dots$ 、 $W_{12}$  は、処理手段 163 における処  
理結果に応じて修正することができる。

【0053】処理手段 163 は、係数設定器 152、1  
53、 $\dots$ 、162 からの出力信号を用い数式 16 によ  
り推定値  $V_{k-1}$  を算定し、この算定値  $V_{k-1}$  と 1 時点前  
に出力した補助信号  $U_{k-1}$  との差  $\delta$  の 2 乗の値  $J$  が減少  
するように数式 17 及び数式 18 を用いることにより  
(最急勾配法により) パラメータ  $W_2$ 、 $W_3$ 、 $\dots$ 、 $W_{12}$   
を修正し、かつ有効電力所望値決定手段 150a からの  
1 時点先の有効電力  $\Delta P$  の所望値  $\Delta P_d$  を基に、前述の  
数式 12 を用いて現時点での出力信号  $U_k$  を算出できる  
ようになっている。

【0054】

【数 16】 $V_{k-1} = W_1 \Delta P_k + W_2 \Delta P_{k-1} + W_3 \Delta P_{k-2}$   
 $+ W_4 \Delta P_{k-3} + W_5 \Delta P_{k-4} + W_6 \Delta P_{k-5} + W_7 \Delta P_{k-6} +$   
 $W_8 U_{k-2} + W_9 U_{k-3} + W_{10} U_{k-4} + W_{11} U_{k-5} + W_{12} U_{k-6}$

【0055】

【数 17】

$$= -\delta \Delta P_{k-i+1} \quad (i=2, 7) \quad \text{または}$$

$$= -\delta U_{k-i+6} \quad (i=8, 12)$$

【0056】

【数18】

$$\text{Winew} = \text{Wiold} + G_c \delta \Delta P_{k-i+1} \quad (i=2, 7) \quad \text{または}$$

$$= \text{Wiold} + G_c \delta U_{k-i+6} \quad (i=8, 12)$$

なお、Winew は修正後のパラメータであり、Wiold は修正前のパラメータである。また、Gcはゲインである。

【0057】このような処理手段163で得られた出力信号Uk は出力リミッタ164で制限をかけられて補助信号Uk として比較器12に供給できるようになっている。

【0058】図3に、電力系統の安定化制御システムが適用された同期機を備えた長距離串型モデルシステムを示す。この図に示す距離串型モデルシステムは、ほぼ直線状に長距離に延びた電力系統17に対して同期機G1、G2、…、G18が串状に接続された形状をしている。

【0059】このような距離串型モデルシステムにおいて、同期機G1に本発明に係る電力系統の安定化制御システムの実施の形態を適用し、かつ長距離の電力系統17のA点において送電線1回線に故障が発生した場合に、電力系統の安定化制御システムによって電力系統17の動揺を抑制する動作について、図1から図3を基に、図4から図7を参照して説明する。なお、この場合において、図4に上記実施の形態の動作を説明するためのフローチャートを示す。また、図5に電力系統の安定化制御システムによる電力系統の動揺の抑制効果を説明するための図を示し、この図の縦軸に相差角をとり、横軸に時間[秒]をとっている。図6に故障発生から電力系統が安定するまでの係数設定器におけるパラメータの推定状況を示し、この図の縦軸にパラメータ(W1、W2、…、W6)の推定値をとり、横軸に時間[秒]をとっている。図7に同期機有効電力変化の所望値の決定について説明図を示し、この図の縦軸に同期機有効電力変化ΔPをとり、横軸に時間をとっている。

【0060】まず、図3における長距離串型モデルシステムにおいて、長距離の電力系統17のA点において送電線1回線に故障が発生したとする。この故障により長距離串型モデルシステムに動揺が発生する。

【0061】〔本発明に係る電力系統の安定化制御システムの実施の形態を同期機G1に適用していない従来の安定化制御システムの場合〕当該安定化制御システムの実施の形態を長距離串型モデルシステムにおける同期機G1に適用していない従来の安定化装置を用いた場合には、図5の符号Yに示すように、相差角[deg]は、故障発生時点(0[秒])から動揺を開始して徐々に振動発散してしまうことがわかる。

〔本発明に係る電力系統の安定化制御システムの実施の形態を同期機G1に適用している場合〕これに対して、本発明に係る電力系統の安定化制御システムの実施の形

態を同期機G1に適用している場合には、図5の符号Zに示すように、当初、相差角[deg]は、故障発生時点(0[秒])から動揺する。

【0062】すると、この動揺は、有効電力検出器13によって有効電力変化ΔPとして検出されて安定化装置15に入力される。

【0063】安定化装置15において、サンプルホールド手段150bは、有効電力変化ΔP、すなわち信号ΔPkをサンプルホールドすると、1時点以前の信号ΔPk-1、ΔPk-2、…、ΔPk-5、及び信号Uk-1、Uk-2、…、Uk-5をサンプルホールドしている。なお、この実施の形態では、6時点前までの信号をサンプルホールドしているが、系統の動揺を抑えるのに最適なものとなるように、この6時点前までという数に限るものではない。

【0064】そして、その信号ΔPk-0、ΔPk-1、…、ΔPk-5、信号Uk-1、Uk-2、…、Uk-5は係数設定器151、152、…、162に入力される。係数設定器151、152、…、162では、各信号にそれぞれパラメータW2、W3、…、W12をかけて処理手段163に渡す。

【0065】処理手段163では、数式16を用いて、1時点前に出力した安定化装置15の補助信号の推定値Vk-1を算定する(図4のステップ(STP)101)。

【0066】次いで、実績Uk-1と、1時点前に出力した安定化装置15の補助信号の推定値Vk-1との差δ(=Uk-1 -Vk-1)の二乗値Jが現象するように、数式17及び数式18を用いて各パラメータW2、W3、…、W12を修正する(STP102)。

【0067】すなわち、評価関数Jの勾配(∂J/∂Wi)は、数式17のように与えられているから、修正ゲインGcとする各パラメータの修正式は、数式18のように与えられることになる。ここで、信号ΔPk-iにおいてi=2、3、…、7であり、信号Uk-iにおいてi=8、9、…、12である。

【0068】そして、有効電力所望値決定手段150aでは、同期機有効電力変化ΔP及び信号ΔPkを取込み、数式15を用いて、1時点先の所望値ΔPdを算定する(STP103)。ここで、この1時点先の所望値ΔPdは、動揺中の同期機1の回転数変化を抑制させるように決定している。すなわち、回転数変化は、有効電力変化によって同期機1に蓄積された加速エネルギー変化と同相なので、この加速エネルギーを抑制するように所望値ΔPdを決定している。



【0069】ここで、数式15について図7を参照して説明することにする。図7に示すように、エネルギー $A_e$ は、故障が発生し(時点 $k_r$ )故障が除去される時点( $k_s$ )までの期間におけるエネルギーである。また、エネルギー $B_e$ は、故障が除去された時点( $k_s$ )から現時点 $k$ までのエネルギーである。すると、現時点 $k$ までの加速エネルギー $E$ は、 $E = A_e - B_e$ で与えられる。また、現時点 $k$ における有効電力変化 $\Delta P$ の変化は、 $\Delta P_k$ となっている。

【0070】また、図7に示すように、1時点先の有効電力変化 $\Delta P$ の値が $\Delta P_d$ であるとするとして、加算される加速エネルギーを台形近似してみると、数式19

【0071】

$$\text{【数19】} - (\Delta P_k + \Delta P_d) \Delta t / 2$$

で示される。なお、 $\Delta t$ はサンプリング時間である。

【0072】このエネルギーと、現時点までの加速エネルギー $E$ が相殺されるとすれば、数式20

【0073】

$$\text{【数20】} (\Delta P_k + \Delta P_d) \Delta t / 2 = E$$

となる。

【0074】そこで、これを基にして、調整ゲインを含めて、1時点先の有効電力の変化の所望値 $\Delta P_d$ を、数式15から算出している。なお、加速エネルギー $E$ は、 $E = -\Delta P / s$ で算定している。ここで、 $s$ はラプラスの演算子である。

【0075】このようにして有効電力所望値決定手段150aからの所望値 $\Delta P_d$ は、処理手段163に入力される。

【0076】また、サンプルホールド手段150bからの信号 $\Delta P_k$ 、 $\Delta P_{k-1}$ 、 $\dots$ 、 $\Delta P_{k-5}$ と信号 $U_{k-1}$ 、 $U_{k-2}$ 、 $\dots$ 、 $U_{k-5}$ は、係数設定器151、152、 $\dots$ 、162において修正されたパラメータ $W_2$ 、 $W_3$ 、 $\dots$ 、 $W_{12}$ とかけられ、出力される。

【0077】これらの信号は、処理手段163において、数式12を用いて処理されて信号 $U_k$ が得られる(STP104)。この信号 $U_k$ は出力リミッタ164で制限がかけられてから補助信号 $U_k$ として比較器12に入力されるとともに、サンプルホールド手段150bに入力される。

【0078】この補助信号 $U_k$ は、比較器12において、出力電圧 $E_A$ 、端子電圧設定値 $E_{AS}$ と比較される。その比較結果は、AVR8に入力される。AVR8は、励磁装置7を駆動制御することにより、励磁巻線6に流れる励磁電流値を制御して、電力系統の動揺が抑制されるようにしている。

【0079】この動作を継続することにより、図5の符号Zに示すように、相差角は時間とともに収束してゆくので、電力系統の動揺が抑制されることがわかる。また、2度目の故障が発生した場合、1度目と比較して動揺が大幅に抑制されることが分かる。

【0080】また、処理手段163において、数式17及び数式18を用いて、パラメータを修正してゆく動作を続けてゆくと、例えばパラメータ $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_{12}$ は、図6(a)、(b)に示すように、個々に変化してゆき、それぞれ所定の値に落ちつくことがわかる。

【0081】以上説明したように、この実施の形態によれば、パラメータをある特定の故障状況に設定している従来の電力系統の安定化制御システムでは対応できないような電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても優れた系統動揺抑制効果を発揮することができる。尚、上記実施の形態において、励磁装置としてサイリスタ励磁方式で説明したが、他の励磁方式であっても良い。例えば、交流励磁方式を採用すれば良い。

【0082】また、上述の実施例は本発明の好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものではなく本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、本実施形態では、同期機が同期発電機として機能している状態について主に説明しているが、揚水式発電システム等の場合のように、同期機が揚水ポンプを駆動するモータとして使われるときにも本発明の適用が可能である。

【0083】

【発明の効果】以上説明したように請求項1記載の発明によれば、電力系統の動揺を抑制するために必要な計算に使用する重み係数を、電力系統の動揺を抑えるのに最適な値に修正できるため、電力系統の運用状態の広範囲な変化に対して常に対応させることができる。

【0084】請求項2記載の発明によれば、安定化装置が、電力系統の動揺を抑制するために必要な計算に使用する重み係数を、電力系統の動揺を抑えるのに最適な値に修正できるため、電力系統の運用状態の広範囲な変化に対して常に対応させる信号を得ることができる。

【0085】請求項3記載の発明によれば、電力系統の動揺を抑制するために必要な計算に使用する重み係数を、電力系統の動揺を抑えるのに最適な値に修正でき、しかも有効電力の所望値を得て、これを基に補助信号を得るようにしたので、パラメータをある特定の故障状況に設定している従来の電力系統の安定化制御システムでは対応できないような電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても優れた系統動揺抑制効果を発揮することができる。

【0086】請求項4記載の発明によれば、パラメータをある特定の故障状況に設定している従来の電力系統の安定化制御システムでは対応できないような電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても優れた系統動揺抑制をさせる補助信号を得ることができる。

【0087】請求項5の発明によれば、同期機有効電力変化、現時点のサンプリング値を基に電力変化の所望値を算出できるので、電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても対応できる所望値を正確に得ることができ

る。請求項6記載の発明によれば、前記サンプルホールド手段により必要な時点の電力変化、補助信号をサンプルホールドし、正確な計算をさせることができる。

【0088】請求項7記載の発明によれば、前記各係数設定器は、重み係数を備えるとともに重み係数を修正可能になっているため、補助信号の計算に必要な信号を正確に得ることができる。

【0089】請求項8記載の発明によれば、前記処理手段は、前記係数設定器からの信号を基に1時点前に出力した補助信号の推定値を算出し、1時点前に出力した補助信号の実績値と前記推定値の差の二乗値が減少するように上記係数設定器の重み係数を修正できるので、広範囲な電力系統の運用状態にも対応できる信号を得ることができる。

【0090】請求項9記載の発明によれば、前記処理手段が、有効電力所望値決定手段からの電力変化の所望値と、前記係数設定器からの信号とを基に、現時点の補助信号を求めて出力できるので、パラメータをある特定の故障状況に設定している従来の電力系統の安定化制御システムでは対応できないような電力系統の運用状態の広範囲な変化に対しても優れた系統動揺抑制効果を発揮させる補助信号を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電力系統の安定化制御システムの実施の形態を示す系統図である。

【図2】同実施の形態で使用する有効電力検出器、安定化装置の構成例を示すブロック図である。

【図3】上記電力系統の安定化制御システムが適用された同期機を備えた長距離串型モデル系統を示す系統図である。

【図4】上記実施の形態の動作を説明するためのフロー\*

\* チャートである。

【図5】同実施の形態による電力系統の動揺の抑制効果を説明するための図である。

【図6】同故障発生から電力系統が安定するまでの係数設定器におけるパラメータの推定状況を示す図であり、(a)はパラメータ推定値がW1 - W6の場合、(b)はパラメータ推定値がW7 - W12の場合である。

【図7】同同期機有効電力変化の所望値の決定についての説明図である。

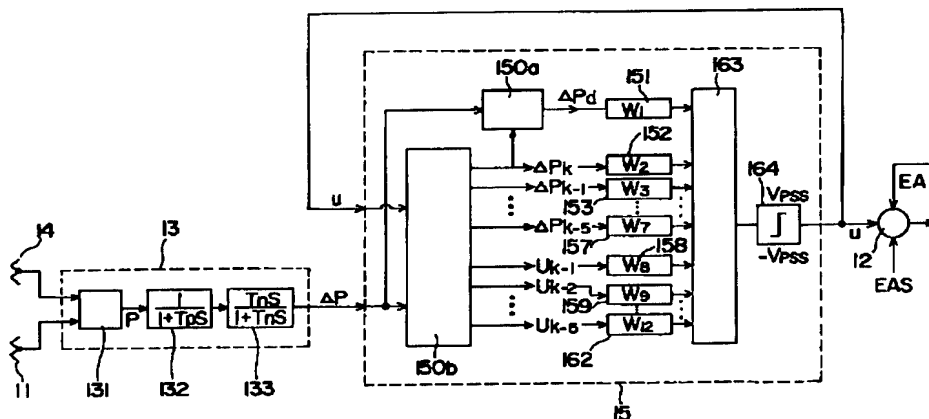
【図8】従来の電力系統の安定化制御システムが適用された同期機を示す系統図である。

【図9】従来の電力系統の安定化制御システムに使用される安定化装置を示すブロック図である。

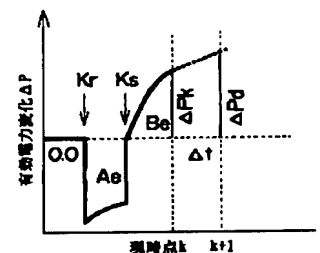
#### 【符号の説明】

- 1 同期機
- 2 主変圧器
- 6 励磁巻線
- 7 励磁装置
- 18 AVR
- 9 励磁用変圧器
- 11 計器用変圧器
- 12 比較器
- 13 有効電力検出器
- 14 計器用変流器
- 15 安定化装置
- 150a 有効電力所望値決定手段
- 150b サンプルホールド手段
- 151, 152, ..., 162 係数設定器
- 163 処理手段
- 164 出力リミッタ

【図2】

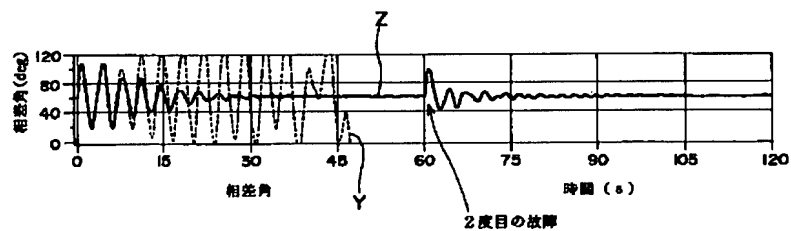


【図7】

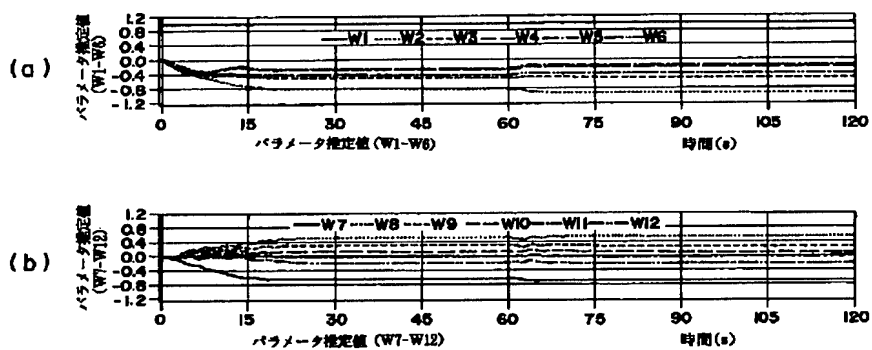




【図5】



【図6】



【図9】

